

UTJECAJ ETERIČNIH ULJA NA FITOPATOGENE GLJIVE

Palfi, Marina; Vrandečić, Karolina; Popijač, Vesna; Čosić, Jasenka

Source / Izvornik: **Poljoprivreda, 2019, 25, 32 - 40**

Journal article, Published version

Rad u časopisu, Objavljena verzija rada (izdavačev PDF)

<https://doi.org/10.18047/poljo.25.1.5>

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:151:081558>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-12-24**



Sveučilište Josipa Jurja
Strossmayera u Osijeku

**Fakultet
agrobiotehničkih
znanosti Osijek**

Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Agrobiotechnical
Sciences Osijek - Repository of the Faculty of
Agrobiotechnical Sciences Osijek](#)



Utjecaj eteričnih ulja na fitopatogene gljive

Impact of essential oils on phytopathogenic fungi

Palfi, M., Vrandečić, K., Popijač, V., Čosić, J.

Poljoprivreda/Agriculture

ISSN: 1848-8080 (Online)

ISSN: 1330-7142 (Print)

<http://dx.doi.org/10.18047/poljo.25.1.5>



Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek, Poljoprivredni institut Osijek

Faculty of Agrobiotechnical Sciences Osijek, Agricultural Institute Osijek

UTJECAJ ETERIČNIH ULJA NA FITOPATOGENE GLJIVE

Palfi, M.⁽¹⁾, Vrandečić, K.⁽²⁾, Popijač, V.⁽¹⁾, Čosić, J.⁽²⁾

Pregledni znanstveni članak
Scientific review

SAŽETAK

Primjena sintetskih fungicida predstavlja još uvijek najučinkovitiju zaštitu od uzročnika biljnih bolesti. Međutim, prekomjerna i dugotrajna uporaba fungicida može dovesti do mnogih štetnih nuspojava, poput štetnoga djelovanja na ljudsko zdravlje, zagađenja okoliša i rezistentnosti patogena. Biološki spojevi koji se nalaze u eteričnim uljima nemaju nikakve štetne učinke na ljude i okoliš, pa mogu biti jedna od značajnih alternativa sintetskim fungicidima. Eterična ulja su sekundarni metaboliti biljaka, a često posjeduju antifungalna, antibakterijska, insekticidna, antivirusna i nematocidna svojstva. Kemijski sastav i biološki učinak eteričnih ulja je složen i ovisi o vrsti biljke, dijelu biljke iz kojega se uzima, podrijetlu, pedoklimatskim uvjetima, vremenu žetve, sezoni berbe i prerade, kao i o uvjetima skladištenja, vrsti patogena, primijenjenoj količini, načinu ekstrakcije i načinu aplikacije. Zbog toga se provode mnoga istraživanja antifungalnoga djelovanja eteričnih ulja na različite fitopatogene in vitro i in vivo ne bi li se pronašla eterična ulja ili njihove kombinacije čiji je antifungalno djelovanje jednako djelovanju sintetskih fungicida.

Ključne riječi: antifungalno djelovanje, eterična ulja, fitopatofene gljive, kemijski sastav

UVOD

Uzročnici biljnih bolesti na globalnoj razini još uvijek izazivaju značajne gubitke, često i mnogo više od 10% (Chakraborty i Newton, 2011.). Osim toga, mnoge fitopatogene gljive predstavljaju ozbiljan rizik za zdravlje ljudi i životinja jer proizvode sekundarne metabolite, kao što su mikotoksini (Nguyen i sur., 2017.). Prema mišljenju međunarodne zajednice, među deset znanstveno i ekonomski najznačajniji biljnih patogena na prvome se mjestu nalazi *Pyricularia oryzae*, a slijede *Botrytis cinerea*, *Puccinia* spp., *Fusarium graminearum*, *Fusarium oxysporum*, *Blumeria graminis*, *Zymoseptoria tritici*, *Colletotrichum* spp., *Ustilago maydis* i *Melampsora lini* (Dean i sur., 2012.). Najučinkovitija zaštita od ovih uzročnika bolesti još uvijek je primjena sintetskih fungicida.

Međutim, prekomjerna uporaba fungicida može dovesti do rezistentnosti patogena (Leroch i sur., 2011.), zagađenja okoliša te akumulacije rezidua u hrani (Ogah i sur., 2016.), što na kraju može imati štetni učinak na zdravlje ljudi. U cilju zaštite ljudskog zdravlja i očuvanja prirode i okoliša, mnogi istraživači pokušavaju razviti nove i učinkovite ne-kemijske metode u kontroli biljnih patogena. Biljke su izvor velikoga broja biološki aktivnih spojeva, što može biti preduvjet razvoja novih bioloških fungicida (Al-Reza i sur., 2010.). Biološki spojevi koji se nalaze u eteričnim uljima nemaju štetne učinke na ljude i okoliš,

(1) Dr. sc. Marina Palfi (marina.palfi@podravka.hr), mr. sc. Vesna Popijač - Istraživanje i razvoj, Podravka d.d., Ante Starčevića 32, 48000 Koprivnica, Hrvatska, (2) Prof. dr. sc. Jasenka Čosić, prof. dr. sc. Karolina Vrandečić – Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet agrobiotehničkih znanosti Osijek, Vladimira Preloga 1, 31000 Osijek, Hrvatska

pa su potencijalno značajna alternativa sintetskim fungicidima (Nguefack i sur., 2013.).

ETERIČNA ULJA I NJIHOV SASTAV

Eterična ulja su hlapljive aromatske hidrofobne koncentrirane uljne tekućine dobivene iz različitih biljnih dijelova, kao što su cvjetovi, pupoljci, sjeme, lišće, korijenje, grančice, kora, drvo i plodovi (Nuzhat i Vidyasagar, 2013.). To su sekundarni metaboliti, koji često posjeduju antifungalna, antibakterijska, antivirusna i insekticidna svojstva (Bassolé i Juliani, 2012.; Hyldgaard i sur., 2012.).

Procjenjuje se da je poznato oko 3000 različitih eteričnih ulja, od kojih komercijalnu važnost ima njih oko 300 (Bakkali i sur., 2008.). Eterična ulja se uglavnom sastoje od monoterpena i seskviterpena te njihovih oksigeniranih derivata, kao što su alkoholi, aldehidi, ketoni, kiseline, fenoli, eteri, esteri itd. (Fornari i sur., 2012.). Identificiranje najaktivnijih antimikrobnih spojeva eteričnih ulja je teško jer su eterična ulja složene smjese više različitih sastojaka (Espina i sur., 2011.). Kemijski sastav i biološki učinak eteričnih ulja je složen i jako ovisi o vrsti

biljke, dijelu biljke iz kojega se uzima, podrijetlu, pedoklimatskim uvjetima, vremenu žetve odnosno sezoni berbe i prerade, kao i uvjetima skladištenja, primijenjenoj količini i načinu aplikacije i vrsti patogena (Burt, 2004.; Russo i sur., 2013.; Ćosić i sur., 2014.). Eterična ulja mogu sadržavati više od 60-tak različitih sastojaka, od kojih su najčešće dva ili tri glavna sastojka u visokim koncentracijama (Tablica 1.), a ostali se nalaze u tragovima (Bakkali i sur., 2008.). Glavne komponente čine oko 85% eteričnog ulja, dok su ostali spojevi prisutni u malim količinama ili u tragovima. Postoje indicije da upravo spojevi u tragovima imaju ključnu ulogu u antimikrobnim svojstvima, najvjerojatnije zbog sinergijskih učinaka s drugim sastojcima ulja (Burt, 2004.). Interakcije između tih komponenata mogu dovesti do antagonističkih, aditivnih ili sinergijskih učinaka (Bassolé i Juliani, 2012.). S druge strane, kombinacija eteričnih ulja, na primjer timijana i čajevca, može imati manji inhibitorni učinak nego primjena samoga eteričnog ulja timijana, te se može zaključiti da u ovoj kombinaciji nema sinergije među eteričnim uljima. Štoviše, eterično ulje čajevca razrjeđuje antifungalna svojstva eteričnoga ulja timijana (Yang i Clausen, 2007.).

Tablica 1. Najznačajnije komponente nekih eteričnih ulja.

Table 1. Major components of some essential oils.

Eterično ulje <i>Essential oil</i>	Kemijski sastav <i>Chemical composition</i>	Literatura <i>Reference</i>
Čajevac/Tea tree (<i>Melaleuca alternifolia</i>)	terpinen-4-ol (42,8 %), γ -terpinen (20,4 %), p-cimen (9,6%), α -terpinen (7,9 %)	Pereira i sur. (2014.)
Anis/Anise (<i>Pimpinella anisum</i>)	<i>trans</i> -anetol (90,82 %), estragol (3,68 %)	Džamić i sur. (2009.)
Limun/Lemon (<i>Citrus limon</i>)	limonen (59,2%), β -pinen (13,7%), γ -terpinen (10,8%)	Mugnaini i sur. (2013.)
Paprena metvica/Peppermint (<i>Mentha piperita</i>)	menton (30,63%), mentol (25,16%), mentofuran (6,47%)	Moghaddam i sur. (2013.)
Komorač/Fennel (<i>Foeniculum vulgare</i>)	Trans-anetol (79,14%), fenhon (11,94%), estragol (5,76%).	Pedrotti i sur. (2017.)
Bosiljak/Basil (<i>Ocimum basilicum</i>)	linalol (32,6%), eugenol (28,1%)	Sartoratto i sur. (2004.)
Eukaliptus/Eucalyptus (<i>Eucalyptus camaldulensis</i>)	1,8-cineol (16,2%), α -pinen (15,6%), α -felandren (10,0 %), p-cimen (8,1%)	Gakuubi i sur. (2017.)
Ružmarin/Rosemary (<i>Rosmarinus officinalis</i>)	1,8 cineol (52,2%), kamfor (15,2%), α -pinen (12,4%)	da Silva Bomfim i sur. (2015.)
Timijan / Thyme (<i>Thymus vulgaris</i>)	timol (79,15%), karvakrol (4,63%), p-cimen (3,27%)	Sartoratto i sur. (2004.)
Kadulja/Sage (<i>Salvia officinalis</i>)	α -tujon (7,8-20,1%), kamfor (8,4-20,8%), borneol (2,5-16,9%), γ -murolen (2,9-13,8%)	Russo i sur. (2013.)
Klinčićevac/Clove (<i>Eugenia caryophyllus</i>)	eugenol (78,57%), β -kariofilen (15,56 %)	Džamić i sur. (2009.)

MEHANIZAM DJELOVANJA ETERIČNIH ULJA

Način djelovanja eteričnih ulja nije potpuno poznat, ali se smatra da eterična ulja djeluju na funkcionalne strukture staničnih membrana i enzime, što dovodi do narušavanja metabolizma i normalnoga funkcioniranja stanice (Bakkali i sur., 2008.). Zbog lipofilnih i hidrofobnih svojstava mogu razgraditi staničnu membranu, ući u citoplazmu i izazvati curenje staničnoga sadržaja (Burt, 2004.), dovode do morfološke degeneracije stanica, citoplazmatske koagulacije, grčenja hifa i istjecanja protoplazma iz hifa (Adebayo i sur., 2013.) te smanjuju klijavost spora (Vitoratos i sur., 2013.). Rast micelija gljive *Fusarium fujikuroi* značajno je smanjen primjenom eteričnoga ulja *Rosmarinus officinalis* u količini od 150 $\mu\text{g}/\text{mL}$. Utvrđene su i značajne morfološke promjene micelija, kao što su rupture stanične stijenke i istjecanje citoplazme kod primjene toga ulja u količini 300 $\mu\text{g}/\text{mL}$. Pri manjim količinama eteričnoga ulja učinak na proizvodnju ergosterola i biomase micelija je varirao, kao i učinak na proizvodnju fumonizina, dok su ovi procesi značajno inhibirani primjenom eteričnoga ulja od $\geq 300 \mu\text{g}/\text{mL}$ (da Silva Bomfim i sur., 2015.). Sharma i sur. (2017.) su kod primjene eteričnoga ulja klinčića utvrdili pojavu smežuranih hifa i dehidracije konidija gljive *Fusarium oxysporum f. sp. lycopersici*. Perina i sur. (2015.) ispitivali su način djelovanja eteričnoga ulja timijana i njegove glavne komponente timola na gljivu *Alternaria alternata* te utvrdili da fenolna komponenta timol sprječava rast hifa, smanjuje vitalnost gljive i sprječava prodiranje hifa kroz staničnu stijenku.

BIOLOŠKA AKTIVNOST ETERIČNIH ULJA

Najveći razlog proučavanja eteričnih ulja jest njihova biološka aktivnost, kao što je antifungalno, antibakterijsko, insekticidno i nematocidno djelovanje. Utvrđeno je da komponente eteričnih ulja, poput timola, eugenola i karvona, imaju snažni inhibitorni učinak na fitopatogene gljive (Marei i sur., 2012.; Morcia i sur., 2012.) i da su zaslužne za antifungalnu aktivnost eteričnih ulja, kao timol u eteričnome ulju timijana (Perina i sur., 2015.). Timol u količini 150 i 250 ppm zaustavlja rast gljive *Botrytis cinerea*, dok citral i karvakrol rast zaustavljaju pri 250 ppm (Camele i sur., 2012.). Dobro djelovanje timola na gljivu *Fusarium oxysporum* utvrdili su Marei i sur. (2012.). Timol je imao najbolje antifungalno djelovanje s vrijednošću EC_{50} 50,35 mg/L . El-Shiekh i sur. (2012.) ispitivali su utjecaj timola, eugenola, metil cinamata, linalola i 1,8-cineola na gljive *Athelia rolfsii*, *Rhizoctonia solani*, *Botrytis cinerea*, *Fusarium*

oxysporum i *Alternaria solani* u uvjetima *in vitro*. Timol i eugenol (fenolni spojevi) imali su najjače antifungalno djelovanje prema ispitanim gljivama, a nakon njih metilcinamat (kao dio ketospoja), a najnižu antifungalnu aktivnost imali su linalol i 1,8-cineol (tercijarni alkohol i eter). Moghtader i sur. (2011.) navode da je antifungalna aktivnost eteričnoga ulja ružmarina prije svega povezana sa sadržajem monoterpena, osobito α -pinena kao glavne komponente.

Antifungalna aktivnost eteričnih ulja smanjuje se ovisno o vrsti kemijskih tvari: fenoli > aldehidi > ketoni > alkoholi > eteri > ugljikovodici (Kalemba i Kunicka, 2003.). Međutim, mnogi autori smatraju da i manje zastupljeni spojevi imaju utjecaj na antifungalnu aktivnost ili da je antifungalna aktivnost rezultat sinergizma između različitih spojeva (Adeyinka i Richard, 2015.) te da antimikrobni učinak eteričnih ulja ovisi o svim kemijskim komponentama (Stefan i sur., 2013.). Ispitivanjem antifungalnoga djelovanja ulja *Melaleuca alternifolia* i njegovih komponenti na gljivu *Botrytis cinerea* utvrđeno je da su terpinen-4-ol i 1,8-cineol imali sinergističku antifungalnu aktivnost, koja je bila znatno veća od bilo koje komponente zasebno (Yu i sur., 2015.). Osim toga, neka eterična ulja u uvjetima *in vitro* mogu imati i stimulativan utjecaj na rast micelija nekih fitopatogenih gljiva (Čosić i sur., 2010.; Grgić i sur., 2016.). Osim kemijskoga sastava, antifungalna aktivnost eteričnih ulja ovisi i o načinu aplikacije. Tako se navodi različito djelovanje eteričnih ulja u hlapljivoj fazi i pri metodi direktne primjene (Soylu i sur., 2007.; Duduk i sur., 2015.; Pedrotti i sur., 2017.). Eterična ulja koja se sastoje od velikih fenolnih spojeva kao što su timol i eugenol imaju bolji učinak pri kontaktnoj primjeni, a eterična ulja koja sadrže nefenolne isparljive spojeve (npr. citral i limonen) najbolje djeluju kada je gljiva izložena hlapljenju ulja (Suhr i Nielsen, 2003.). Biološka aktivnost eteričnih ulja u hlapljivoj fazi čini ih važnima kao mogućim fumigantima za kontrolu gljiva koje su uzročnice propadanja poljoprivrednih proizvoda nakon berbe odnosno žetve (Shao i sur., 2013.; Sumalan i sur., 2013.).

ANTIFUNGALNI UČINAK ETERIČNIH ULJA NA FITOPATOGENE GLJIVE

Budući da antimikrobno djelovanje ulja ovisi o različitim čimbenicima (Čosić i sur., 2010.; Moghaddam i sur., 2013.), provode se mnoga ispitivanja antifungalnoga učinka eteričnih ulja i njihovih komponenti na rast različitih fitopatogenih gljiva u uvjetima *in vitro* i *in vivo* (Tablica 2.).

Tablica 2. Antifungalni učinak nekih eteričnih ulja na fitopatogene gljive iz razdjela *Ascomycota*.Table 2. Antifungal effect of some essential oils on phytopathogenic fungi of *Ascomycota* subdivision.

Eterična ulja Essential oils	Ispitivane gljive Target fungi	Literatura Reference
<i>Cestrum nocturnum</i>	<i>Botrytis cinerea</i> , <i>Fusarium oxysporum</i> , <i>F. solani</i> , <i>Sclerotinia sclerotiorum</i>	Al-Reza i sur. (2010.)
<i>Cinnamomum zeylanicum</i>	<i>Fusarium culmorum</i> , <i>F. fujikuroi</i> , <i>F. oxysporum</i> f.sp. <i>ciceri</i> , <i>F. oxysporum</i> f.sp. <i>fragariae</i> , <i>F. oxysporum</i> f.sp. <i>lycopersici</i> , i <i>F. oxysporum</i> f.sp. <i>melonis</i> ,	Behtoei i sur. (2012.), Roselló i sur. (2015.), Park i sur. (2017.)
<i>Cymbopogon nardus</i> <i>Cymbopogon citratus</i>	<i>Athelia rolfsii</i> , <i>Diaporthe azadirachtae</i> , <i>Fusarium oxysporum radices-lycopersici</i> , <i>F. oxysporum lycopersici</i> , <i>F. solani</i> , <i>Macrophomina phaseolina</i>	Nagendra Prasad i sur. (2010.), El-Mohamedy i sur. (2013.)
<i>Eugenia caryophyllus</i> <i>Syzygium aromaticum</i>	<i>Alternaria alternata</i> , <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>lycopersici</i> <i>F. sporotrichioides</i> , <i>F. tricinctum</i> , <i>Phoma magdonaldii</i> , <i>Phomopsis helianthi</i>	Džamić i sur. (2009.), Sharma i sur. (2017.),
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	<i>F. fujikuroi</i> , <i>F. oxysporum</i> , <i>F. proliferatum</i> , <i>Neocosmospora solani</i>	Gakuubi i sur. (2017.)
<i>Foeniculum vulgare</i>	<i>Botrytis cinerea</i> , <i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>fragariae</i> , <i>Macrophomina phaseolina</i> , <i>Sclerotinia sclerotiorum</i> , <i>Verticillium fungicola</i> . var. <i>fungicola</i>	Soylu i sur. (2007.), Tanović i sur. (2009.), Khaledi i sur. (2014.), Park i sur. (2017.) Pedrotti i sur. (2017.)
<i>Lavandula angustifolia</i> , <i>Lavandula officinalis</i>	<i>Diaporthe neoviticola</i> , <i>Phomopsis helianthi</i> , <i>Verticillium dahliae</i> , <i>V. fungicola</i> . var. <i>fungicola</i>	Ćosić i sur. (2010.), Erdogan i sur. (2016.), Tanović i sur. (2009.)
<i>Melaleuca alternifolia</i>	<i>Botrytis cinerea</i>	Shao i sur., (2013), Li i sur. (2017.)
<i>Mentha piperita</i> <i>Mentha spicata</i>	<i>Diaporthe neoviticola</i> , <i>Fusarium fujikuroi</i> , <i>F. oxysporum</i> , <i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>radicis-cucumerinum</i> , <i>Macrophomina phaseolina</i> , <i>Verticillium dahliae</i>	Ćosić i sur. (2010.), Nosrati i sur. (2011.), Khaledi i sur. (2014.), Erdogan i sur. (2016.)
<i>Origanum compactum</i> <i>Origanum vulgare</i>	<i>Botrytis cinerea</i> , <i>Fusarium culmorum</i> , <i>F. fujikuroi</i>	Adebayo i sur. (2013.), Roselló i sur. (2015.)
<i>Pimpinella anisum</i>	<i>Alternaria alternata</i> , <i>A. solani</i> , <i>Diaporthe neoviticola</i> , <i>Fusarium avenaceum</i> , <i>F. graminearum</i> , <i>F. oxysporum</i> , <i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>cucumerinum</i> , <i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>lycopersici</i> , <i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>vasinfectum</i> , <i>F. sporotrichioides</i> , <i>F. tricinctum</i> , <i>Lasioidiplodia theobromae</i> , <i>Phoma magdonaldii</i> , <i>Phomopsis helianthi</i> , <i>P. longicolla</i> , <i>Verticillium fungicola</i> . var. <i>fungicola</i>	Džamić i sur. (2009.), Tanović i sur. (2009.), Ćosić i sur. (2010.), Huang i sur. (2010.)
<i>Rosmarinus officinalis</i>	<i>Fusarium fujikuroi</i>	da Silva Bomfim i sur. (2015.)
<i>Salvia officinalis</i>	<i>Diaporthe neoviticola</i> , <i>Fusarium fujikuroi</i> , <i>Verticillium fungicola</i> . var. <i>fungicola</i>	Tanović i sur. (2009.), Ćosić i sur. (2010.),
<i>Thymus kotschyanus</i> <i>Thymus vulgaris</i> <i>Thymus zygis</i> ssp. <i>sylvestris</i>	<i>Athelia rolfsii</i> , <i>Diaporthe neoviticola</i> , <i>Fusarium avenaceum</i> , <i>F. graminearum</i> , <i>F. oxysporum</i> , <i>F. oxysporum radices-lycopersici</i> , <i>F. oxysporum lycopersici</i> , <i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>fragariae</i> , <i>F. solani</i> , <i>F. fujikuroi</i> , <i>Macrophomina phaseolina</i> , <i>Phomopsis helianthi</i> , <i>Phomopsis longicolla</i> , <i>P. phaseoli</i> , <i>Sclerotinia sclerotiorum</i> , <i>Verticillium dahliae</i>	Perez-Sanchez i sur. (2007.), Ćosić i sur. (2010.), El-Mohamedy i sur. (2013.), Amini i sur. (2012.), Khaledi i sur. (2014.), Park i sur. (2017.), Erdogan i sur. (2016.)
<i>Zataria multiflora</i>	<i>Fusarium graminearum</i> , <i>Sclerotinia sclerotiorum</i>	Amini i sur. (2012.)

Važna karakteristika eteričnih ulja jest ta da usporavaju biosintezu ergosterola, specifičnoga sterola gljiva, čineći ih specifičnima za ciljane gljive (Ćosić i sur., 2010.; Amini i sur., 2012.; Kedia i sur., 2015.; Li i sur., 2017.). Moghaddam i sur. (2013.) su u uvjetima *in vitro* utvrdili da su minimalne djelotvorne količine eteričnoga ulja *Mentha piperita* različite ovisno o vrsti patogena, te navode da sedam dana nakon primjene ulje u količini od 800 ppm i 1600 ppm može potpuno inhibirati rast micelija gljive *Dreschlera spicifera*, dok je potpuna inhibicija rasta micelija gljive *Fusarium oxysporum* f.sp. *ciceris* bila kod primjene ulja u količini od 1600 ppm. Ispitivanjem antifungalnih svojstava eteričnoga ulja duglazije (*Pseudosuga menziesii*) utvrđeno je da je od svih ispitivanih gljiva najosjetljivija gljiva bila *Phomopsis helianthi*, dok su vrste *Penicillium* i *Microsporum canis* bile najotpornije. Minimalna inhibitorna koncentracija (MIC) eteričnoga ulja duglazije bila je, ovisno o vrsti glji-

ve, od 1,5 do 4 $\mu\text{g/mL}$ (Tešević i sur., 2009.). Osim toga, različita eterična ulja djeluju različito na istu patogenu gljivu. Tako su Yilmaz i sur. (2016.) ispitivali antifungalni učinak eteričnih ulja *Salvia officinalis*, *Rosmarinus officinalis*, *Origanum vulgare*, *Eucalyptus* sp. i *Foeniculum vulgare* na gljive *Penicillium expansum*, *Colletotrichum gloeosporioides* i *Botrytis cinerea* na jabukama. Utvrdili su da je eterično ulje origana bilo najučinkovitije protiv ispitivanih gljiva u pokusima *in vitro* i *in vivo*. Silazni redosljed inhibicijske snage eteričnih ulja bio je od eukaliptusa preko komorača i kadulje do eteričnoga ulja ružmarina. Soyly i sur. (2007.) su u ispitivanjima antifungalne aktivnosti eteričnih ulja komorača i origana na gljivu *Sclerotinia sclerotiorum* utvrdili da je jači inhibitorni učinak imalo eterično ulje komorača. Isto tako, u ispitivanju antifungalne aktivnosti eteričnih ulja *Thymus vulgaris* i *Eucalyptus camaladulensis* na rast skladišnih i zemljišnih patogenih gljiva, utvrđen je bolji učinak ete-

ričnog ulja timijana u odnosu na ulje eukaliptusa (Katooli i sur., 2012.). Bi i sur. (2012.) navode da su između četrnaest testiranih komercijalnih eteričnih ulja origano, palmarosa i crveni timijan imali najniže vrijednosti EC_{50} ($<0,15 \mu\text{g/mL}$) i time najbolje inhibirali produkciju i klijavost sporangija i zoospora te rast micelija gljive *Phytophthora capsici*.

Osim o vrsti eteričnih ulja i ispitivanih patogena, antifungalni učinak ovisi i o koncentraciji odnosno primijenjenoj količini eteričnih ulja (Park i sur., 2017.). Tako je pri 1,00 mL/L eterično ulje čajevca inhibiralo rast gljive *Botrytis cinerea* 77,16%, a rast gljive *Penicillium expansum* 27,77%. Inhibicija rasta micelija povećava se povećanjem količine ili koncentracije eteričnoga ulja. Pri količini od 1,5 mL/L inhibicija rasta gljive *Botrytis cinerea* iznosi 99,02%, dok je za gljivu *Penicillium expansum* količina 4,0 mL/L rezultirala inhibicijom rasta micelija od 98,62%. Rast micelija u potpunosti je inhibiran u količini od 2,0 mL/L za gljivu *Botrytis cinerea* i 6,5 mL/L za gljivu *Penicillium expansum* (Li i sur., 2017.). El-Mohamedy i sur. (2013.) utvrdili su, ispitujući inhibitornu aktivnost alternativama fungicida na rast zemljišnih gljiva *Fusarium oxysporum radices-lycopersici*, *Fusarium oxysporum lycopersici*, *Neocosmospora solani*, *Rhizoctonia solani*, *Athelia rolfsii*, *Macrophomina phaseolina*, *Pythium sp.* i *Phytophthora sp.*, da je rast micelija značajno smanjen povećanjem primijenjenih koncentracija eteričnih ulja. Minimalni rast micelija utvrdili su pri najvišoj primijenjenoj koncentraciji, a kompletna inhibicija rasta gljiva uočena je pri koncentraciji svih testiranih eteričnih ulja od 1,5%. Adebayo i sur. (2013.) ispitivali su djelovanje eteričnih ulja *Origanum vulgare*, *Monarda didyma* i *Thymus* protiv uzročnika sive plijesni jagoda. Učinak eteričnih ulja na rast gljive *Botrytis cinerea* ovisio je o primijenjenim dozama. Ulje timijana potpuno je inhibiralo rast micelija pri količini od 200 $\mu\text{g/mL}$. Rast micelija u tretmanu eteričnim uljima *Origanum vulgare*, *Monarda didyma* znatno se smanjio pri količini od 51,2 $\mu\text{g/mL}$. Perez-Sanchez i sur. (2007.) ispitivali su antifungalna svojstva eteričnih ulja iz šest populacija *Thymus zygis* na gljive *Phytium irregulare*, *Rhizoctonia solani*, *Colletotrichum acutatum*, *Fusarium oxysporum* i *Sclerotinia sclerotiorum*. Utvrdili su da se EC_{50} kreće u rasponu od 86 ppm do 577 ppm. Huang i sur. (2010.) navode da je u ispitivanju antifungalne aktivnosti eteričnoga ulja *Illicium verum* i njegove glavne komponente trans-anetola IC_{50} za vrste *Alternaria solani* i *Fusarium* iznosio od 0,08 do 0,25 mg/mL kod trans-anetola, a kod eteričnoga ulja 0,10 do 0,20 mg/mL. Sharma i sur. (2017.) ispitivali su učinak eteričnih ulja na gljivu *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* te navode da IC_{50} za eterično ulje klinčića iznosi 18,22 ppm, limunske trave 24,25 ppm, metvice 60,05 ppm te eukaliptusa 207,86 ppm. Gakuubi i sur. (2017.) utvrdili su da je MIC za pet vrsta *Fusarium* s obzirom na eterično ulje *Eucalyptus camaldulensis* 7-8 $\mu\text{L/mL}$, dok je minimalna fungicidna koncentracija (MFC) 8-10 $\mu\text{L/mL}$.

Antifungalni učinak eteričnih ulja ovisi i o vremenu inkubacije. Tako su uzorci tretirani s 1 μL eteričnoga

ulja metvice produljenjem inkubacije pokazivali lagano smanjenje učinka. Uzorci tretirani s 3 i 5 μL pokazali su maksimum inhibicije rasta micelija nakon dva do tri dana od inkubacije, a potom se djelovanje ulja polako smanjuje (Nosrati i sur., 2011.). Sumalan i sur. (2013.) također navode da je najveći inhibicijski učinak eteričnih ulja *Melissa officinalis*, *Salvia officinalis*, *Coriandrum sativum*, *Thymus vulgaris*, *Mentha piperita* i *Cinnamomum zeylanicum* utvrđen pet dana nakon tretmana, dok su Adebayo i sur. (2013.) utvrdili potpunu inhibiciju rasta micelija gljive *Botrytis cinerea* tijekom 24 h od primjene 51,2 μg ulja/mL.

Eterična ulja mogu u određenoj koncentraciji imati inhibitorni učinak usporediv s primijenjenim fungicidima (Perina i sur., 2015.; Palfi i sur., 2018.). Tako je za usporedbu učinkovitosti eteričnih ulja ekstrahiranih iz sjemena *Azadirachta indica*, *Brassica campestris*, *Nigella sativa* i *Ferula assafoetida* korišten fungicid Ridomil Gold (MZ 68% WP). Sva eterična ulja osim *Brassica campestris* imala su antifungalni učinak na ispitivane gljive. Najbolje djelovanje imalo je ulje *Ferula assafoetida* u koncentraciji od 0,1 i 0,15%, a slijede eterična ulja *Nigella sativa* u koncentraciji od 0,15%, eterično ulje *Azadirachta indica*, potom fungicid Ridomil Gold i na kraju eterično ulje *Brassica campestris* (Sitara i sur., 2008.). Nadalje, utvrđeno je da eterično ulje *Pseudosuga menziesii* rast micelija gljiva *Phomopsis helianthi* i *Alternaria alternata* inhibira bolje od komercijalne antifungalne tvari biofonazol (Tešević i sur., 2009.). Isto tako, eterično ulje ružmarina u razrjeđenju od 1, 1/2 i 1/4 pokazalo je snažnije antifungalno djelovanje od antibiotika gentamicina (8 mg/mL) na gljivu *Aspergillus flavus*. Umjerenu antifungalnu aktivnost pokazao je borneol u razrjeđenju od 10%, a 10-postotni fungicid Benomil nije imao inhibitorni učinak na gljivu *A. flavus*. (Moghtader i sur., 2011.). Djelovanje timola bilo je usporedivo s referentnim fungicidom karbendazimom, registriranim protiv gljiva *Rhizoctonia solani*, *Fusarium oxysporum*, *Penicillium digitatum* i *Aspergillus niger* (Marei i sur., 2012.).

Sve više pažnje posvećuje se ispitivanjima antifungalnoga učinka eteričnih ulja *in vivo*, osobito u kontroli važnih patogena koji uzrokuju štete nakon berbe voća i povrća (Vitoratos i sur., 2013.; Yilmaz i sur., 2016.). Elshafie i sur. (2015.) utvrdili su da u uvjetima *in vivo* najveći primijenjeni volumeni eteričnih ulja *Verbena officinalis* (1000 ppm) i *Thymus vulgaris* (500 ppm) značajno smanjuju simptome uzrokovane gljivama *Monilinia laxa*, *Monilinia fructigena* i *Monilinia fructicola*. Bi i sur. (2012.) utvrdili su da plodovi tikvice (*Cucurbita pepo*) tretirani eteričnim uljima crvenoga timijana (0,1 $\mu\text{g/mL}$) ili origana i palmarose (0,2 $\mu\text{g/mL}$) daju dobru zaštitu od infekcije gljivom *Phytophthora capsici*, pa stoga ta ulja mogu biti pogodna za integriranu i ekološku proizvodnju. Isto tako, aplikacija različitih eteričnih ulja pruža mogućnost kontrole gljive *Colletotrichum gloeosporioides* tijekom proizvodnje plodova paprike (Hong i sur., 2015.). Eterična ulja *Satureja hortensis*, *Zataria multiflora* i *Carum copticum* u količini od 200 ppm učinkovita su u kontroli rasta micelija gljive *Botrytis cinerea* na plodovima jagode (Etemadi i sur., 2012.). Tanović i sur. (2013.)

ispitivali su bioaktivnost eteričnoga ulja timijana, kao i razvijene formulacije - koncentrata za emulziju (EC) - na gljivu *Monilinia fructigena* u uvjetima *in vitro* i *in vivo*. Ispitivanja *in vitro* pokazala su da i inicijalno eterično ulje i razvijena formulacija značajno inhibiraju porast micelija izolata gljive *M. fructigena*. U ispitivanjima *in vivo* na inokuliranim plodovima jabuke utvrđeno je da je procesom formuliranja značajno smanjena isparljivost ulja s tretirane površine, pa je i razvoj truleži plodova paprike smanjen od 64,7 do 72,1% u usporedbi s kontrolom.

Pojačana antifungalna aktivnost eteričnih ulja može se postići u kombinaciji s drugim tretmanima, poput tretmana timijana u toploj vodi (50°C). Toplinska obrada pojačala je antifungalnu aktivnost hlapljivih terpenoida, koji su sintetizirani termoovisnim načinom sinteze timijana (Eguchi i sur., 2016.). Kombinacija eteričnih ulja i njihovih komponenti može u budućnosti pronaći sve veću primjenu u kombinaciji s drugim biološkim sredstvima i inovativnim tretmanima, zavisno o primijenjenim koncentracijama i vremenu primjene (Elshafie i sur., 2015.). Rezultati istraživanja upućuju na to da je antifungalna aktivnost eteričnih ulja različita ovisno o tome primijenjuju li se ona *in vitro* ili *in vivo* i da primjena *in vivo* zahtijeva veće koncentracije eteričnih ulja (Pedrotti i sur., 2017.). Snižavanje koncentracija eteričnih ulja bez ugrožavanja antimikrobnoga djelovanja može se dobiti primjenjujući ih u kombinacijama s drugim antimikrobnim spojevima koji daju sinergistički učinak (Adeyinka i Richard, 2015.). Zato neki autori smatraju da buduća istraživanja treba usmjeriti na sustavno ispitivanje sinergijskoga djelovanja među različitim komponentama (Hyldgaard i sur., 2012.). Zbog njihove sigurnosti za zdravlje potrošača i pozitivnoga učinka na produljenje trajnosti svježih proizvoda (Camele i sur., 2012.) primjena eteričnih ulja u zaštiti poljoprivrednih kultura i proizvoda trebala bi u budućnosti imati sve veću važnost, pa i praktičnu primjenu.

ZAKLJUČAK

Eterična ulja mogu biti dobra alternativa sintetskim fungicidima, osobito zbog činjenice da ne djeluju štetno na zdravlje ljudi i okoliš. Međutim, rezultati istraživanja s istim eteričnim uljima i fitopatogenim gljivama mogu biti vrlo različiti jer sastav eteričnih ulja nije strogo definiran, već ovisi o vrsti biljke, dijelu biljke iz kojega se uzima, podrijetlu, pedoklimatskim uvjetima, vremenu žetve, sezoni berbe i prerade, kao i o uvjetima skladištenja, vrsti patogena, primijenjenoj količini i načinu aplikacije. Buduća istraživanja antifungalnoga učinka trebala bi se usmjeriti ka kombinacijama eteričnih ulja i njihovih komponenti, kao i ka kombinacijama s različitim tretmanima i ekološki prihvatljivim sredstvima.

LITERATURA

1. Adebayo, O., Dang, T., Belenger, A., & Khanzadeh, S. (2013). Antifungal Studies of Selected Essential Oils and Commercial Formulation against *Botrytis cinerea*. *Journal of Food Research*, 2(1), 217-226. <https://doi.org/10.5539/jfr.v2n1p217>

2. Adeyinka, A., & Richard, F. (2015). Application of phytochemical extracts and essential oils in food products: A review. *International Journal of Biotechnology and Food Science*, 3(3), 31-35.
3. Al-Reza, S. M., Rahman, A., Ahmed, Y., & Kang, S. C. (2010). Inhibition of plant pathogens *in vitro* and *in vivo* with essential oil and organic extracts of *Cestrum nocturnum* L. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 96(2), 86-92. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2009.09.005>
4. Amini, M., Safaie, N., Salmani, J., & Shams-Bakhsh, M. (2012). Antifungal activity of three medicinal plant essential oils against some phytopathogenic fungi. *Trakia Journal of Sciences*, 10(1), 1-8.
5. Bakkali, F., Averbeck, S., Averbeck, D., & Idaomar, M. (2008). Biological effects of essential oils - a review. *Food and Chemical Toxicology*, 46(2), 446-475. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2007.09.106>
6. Bassolé, I. H. N., & Juliani, H. R. (2012). Essential oils in combination and their antimicrobial properties. *Molecules* 17(4), 3989-4006. <https://doi.org/10.3390/molecules17043989>
7. Bi, Y., Jiang, H., Hausbeck, M. K., & Hao, J. J. (2012). Inhibitory effects of essential oils for controlling *Phytophthora capsici*. *Plant Disease*, 96(6), 797-803. <https://doi.org/10.1094/PDIS-11-11-0933>
8. Behtoei, H., Amini, J., Javadi, T., & Sadeghi, A. (2012). Composition and *in vitro* antifungal activity of *Bunium persicum*, *Carum copticum* and *Cinnamomum zeylanicum* essential oils. *Journal of Medicinal Plants Research*, 6(37), 5069-5076. <https://doi.org/10.5897/JMPR12.106>
9. Burt, S. (2004). Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods - a review. *International Journal of Food Microbiology*, 94(3), 223-253. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2004.03.022>
10. Camele, I., Altieri, L., De Martino, L., De Feo, V., Mancini, E., & Rana, G. L. (2012). *In vitro* control of post-harvest fruit rot fungi by some plant essential oil components. *International Journal of Molecular Sciences*, 13(2), 2290-2300. <https://doi.org/10.3390/ijms13022290>
11. Chakraborty, S., & Newton, A. C. (2011). Climate change, plant diseases and food security: an overview. *Plant Pathology*, 60(1), 2-14. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2010.02411.x>
12. Ćosić, J., Vrandečić, K., & Jurković, D. (2014). The Effect of Essential Oils on the Development of Phytopathogenic Fungi. In: E. Sharma (Ed.), *Biological Controls for Preventing Food Deterioration: Strategies for Pre-and Postharvest Management*, pp. 273-291. John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781118533024.ch12>
13. Ćosić, J., Vrandečić, K., Poštić, J., Jurković, D., & Ravlić, M. (2010). *In vitro* antifungal activity of essential oils on growth of phytopathogenic fungi. *Poljoprivreda*, 16(2), 25-28.
14. Da Silva Bomfim, N., Nakassugi, L. P., Oliveira, J. F. P., Kohiyama, C. Y., Mossini, S. A. G., ... & Machinski, M. (2015). Antifungal activity and inhibition of fumonisin production by *Rosmarinus officinalis* L. essential oil in *Fusarium verticillioides* (Sacc.) Nirenberg. *Food Chemistry*, 166, 330-336. <https://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.06.019>

15. Dean, R., Van Kan, J. A. L., Pretorius, Z. A., Hammond-Kosack, K. E., Di Pietro, A., Spanu, P., ... & Foster, G.D. (2012). The top 10 fungal pathogens in molecular plant pathology. *Molecular Plant Pathology*, 13(4), 414-430. <https://doi.org/10.1111/j.1364-3703.2011.00783.x>
16. Duduk, N., Markovic, T., Vasic, M., Duduk, B., Vico, I., & Obradovic, A. (2015). Antifungal Activity of Three Essential Oils against *Colletotrichum acutatum*, the Causal Agent of Strawberry Anthracnose. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 18(3), 529-537. <https://doi.org/10.1080/0972060X.2015.1004120>
17. Džamić, A., Soković, M., Ristić, M. S., Grijić-Jovanović, S., Vukojević, J., & Marin, P. D. (2009). Chemical composition and antifungal activity of *Illicium verum* and *Eugenia caryophyllata* essential oils. *Chemistry of Natural Compounds*, 45(2), 259-261.
18. Eguchi, Y., Widiastuti, A., Odani, H., Chinta, Y. D., Shinohara, M., Misu, H., Kamoda, H., Watanabe, M., Hasegawa, M., & Sato, T. (2016). Identification of terpenoids volatilized from *Thymus vulgaris* L. by heat treatment and their in vitro antimicrobial activity. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 94, 83-89. <https://doi.org/10.1016/j.pmpp.2016.05.004>
19. El-Mohamedy, R. S., Abdel-Kader, M. M., Abd-El-Kareem, F., & El-Mougy, N. S. (2013). Essential oils, inorganic acids and potassium salts as control measures against the growth of tomato root rot pathogens *in vitro*. *Journal of Agricultural Technology*, 9(6), 1507-1520.
20. Elshafie, H. S., Mancini, E., Camele, I., De Martino, L., & De Feo, V. (2015). *In vivo* antifungal activity of two essential oils from Mediterranean plants against post-harvest brown rot disease of peach fruit. *Industrial Crops and Products*, 66, 11-15. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.12.031>
21. El-Shiekh, Y. W. A., El-Din, N. H., Shaymaa, M. A. A., & El-Din, K. A. Z. (2012). Antifungal activity of some naturally occurring compounds against economically important phytopathogenic fungi. *Natural Science*, 10, 114-123.
22. Erdogan, O., Celik, A., & Zeybek, A. (2016). *In vitro* antifungal activity of mint, thyme, lavender extracts and essential oils on *Verticillium dahliae* kleb. *Fresenius Environmental Bulletin*, 25(11), 4856-4862.
23. Espina, L., Somolinos, M., Lorán, S., Conchello, P., García, D., & Pagán, R. (2011). Chemical composition of commercial citrus fruit essential oils and evaluation of their antimicrobial activity acting alone or in combined processes. *Food Control*, 22(6), 896-902. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2010.11.021>
24. Etemadi, N. A., Behdad, M., & Zeinali, H. (2012). Antifungal Effects of Three Plant Essential Oils Against *Botrytis cinerea*: The Cause of Gray Mold on Strawberry. *Journal of Research in Agricultural Science (JRAS)*, 8(2), 165-170.
25. Fornari, T., Vicente, G., Vázquez, E., García-Risco, M. R., & Reglero, G. (2012). Isolation of essential oil from different plants and herbs by supercritical fluid extraction. *Journal of Chromatography A*, 1250, 34-48. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2012.04.051>
26. Gakuubi, M. M., Maina, A. W., & Wagacha, J. M. (2017). Antifungal Activity of Essential Oil of *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. against Selected *Fusarium* spp. *International Journal of Food Microbiology*, Article ID 8761610, 1-7. <https://doi.org/10.1155/2017/8761610>
27. Grgić, S., Čosić, J., Rebekić, A., & Vrandečić, K. (2016). Utjecaj eteričnih ulja na porast micelija *Botrytis cinerea*. *Poljoprivreda*, 22(2), 29-33. <https://doi.org/10.18047/poljo.22.2.5>
28. Hong, J. K., Yang, H. J., Jung, H., Yoon, D. J., Sang, M. K., & Jeun, Y. C. (2015). Application of volatile antifungal plant essential oils for controlling Pepper fruit anthracnose by *Colletotrichum gloeosporioides*. *Plant Pathology Journal*, 31(3), 269-277. <https://doi.org/10.5423/PPJ.OA.03.2015.0027>
29. Huang, Y., Zhao, J., Zhou, L., Wang, J., Gong, Y., Chen, X., ... & Jiang, W. (2010). Antifungal activity of the essential oil of *Illicium verum* fruit and its main component trans-anethole. *Molecules*, 15(11), 7558-7569. <https://doi.org/10.3390/molecules15117558>
30. Hyldgaard, M., Mygind, T., & Meyer, R. L. (2012). Essential oils in food preservation: mode of action, synergies and interactions with food matrix components. *Frontiers in Microbiology*, 3(12), 1-24. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2012.00012>
31. Khaledi, N., Taheri, P., & Tarighi, S. (2014). Antifungal activity of various essential oils against *Rhizoctonia solani* and *Macrophomina phaseolina* as major bean pathogens. *Journal of Applied Microbiology*, 118, 704-717. <https://doi.org/10.1111/jam.12730>
32. Kalembe, D., & Kunicka, A. (2003). Antibacterial and antifungal properties of essential oils. *Current Medicinal Chemistry*, 10(10), 813-829. <https://doi.org/10.2174/0929867033457719>
33. Katooli, N., Maghsodlo, R., Honari, H., & Razavi, S. E. (2012). Fungistatic activity of Essential oil of *Thyme* and *Eucalyptus* against Postharvest and soilborne Plant Pathogenic fungi. *Global Journal of Medical Plant Research (GJMPPR)*, 1(1):1-4.
34. Kedia, A., Jha, D. K., & Dubey, N. K. (2015). Plant essential oils as natural fungicides against stored product fungi. In: *The Battle Against Microbial Pathogens: Basic Science, Technological Advances and Educational Programs* (A. Mendez-Vilas, Ed.), pp. 208-214. Bajados, Spain: Formatex Research Center.
35. Leroch, M., Kretschmer, M., & Hahn, M. (2011). Fungicide resistance phenotypes of *Botrytis cinerea* isolates from commercial vineyards in South West Germany. *Journal of Phytopathology*, 159(1), 63-65. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0434.2010.01719.x>
36. Li, Y., Shao, X., Xu, J., Wei, Y., Xu, F., & Wang, H. (2017). Effects and possible mechanism of tea tree oil against *Botrytis cinerea* and *Penicillium expansum* *in vitro* and *in vivo* test. *Canadian Journal of Microbiology*, 63(3), 219-227. <https://doi.org/10.1139/cjm-2016-0553>
37. Marei, G. I. K., Rasoul, M. A. A., & Abdelgaleil, S. A. M. (2012). Comparative antifungal activities and biochemical effects of monoterpenes on plant pathogenic fungi. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 103(1), 56-61. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2012.03.004>
38. Moghaddam, M., Pourbaige, M., Tabar, H. K., Farhadi, N., & Hosseini, S. M. A. (2013). Composition and antifungal

- activity of peppermint (*Mentha piperita*) essential oil from Iran. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 16(4), 506-512. <https://doi.org/10.1080/0972060X.2013.813265>
39. Moghtader, M., Salari, H., & Farahmand, A. (2011). Evaluation of the antifungal effects of rosemary oil and comparison with synthetic borneol and fungicide on the growth of *Aspergillus flavus*. *Ecology and The Natural Environment*, 3(6), 210-214.
 40. Morcia, C., Malnati, M., & Terzi, V. (2012). *In vitro* antifungal activity of terpinen-4-ol, eugenol, carvone, 1,8-cineole (eucalyptol) and thymol against mycotoxigenic plant pathogens. *Food Additives & Contaminants Part A*, 29(3), 415-422. <https://doi.org/10.1080/19440049.2011.643458>
 41. Mugnaini, L., Nardoni, S., Pistelli, L., Leonardi, M., Giuliotti, L., Benvenuti, M. N., Pisseri, F., & Mancianti, F. (2013). A herbal antifungal formulation of *Thymus serpyllum*, *Origanum vulgare* and *Rosmarinus officinalis* for treating ovine dermatophytosis due to *Trichophyton mentagrophytes*. *Mycoses*, 56(3), 333-337. <https://doi.org/10.1111/myc.12034>
 42. Nagendra Prasad, M. N., Shankara Bhat, S., & Sreenivasa, M. Y. (2010). Antifungal activity of essential oils against *Phomopsis azadirachtae* - the causative agent of die-back disease of neem. *Journal of Agricultural Technology*, 6(1), 127-133.
 43. Nguefack, J., Wulff, G. E., Dongmo, J. B. L., Fouelefack, F. R., Fotio, D., Mbo, J., & Torp, J. (2013). Effect of plant extracts and an essential oil on the control of brown spot disease, tillering, number of panicles and yield increase in rice. *European Journal of Plant Pathology*, 137, 871-882.
 44. Nguyen, P. A., Strub, C., Fontana, A., & Schorr-Galindo, S. (2017). Crop molds and mycotoxins: Alternative management using biocontrol. *Biological Control*, 104, 10-27. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2016.10.004>
 45. Nosrati, S., Esmailzadeh-Hosseini, S. A., Sarpeleh, A., Soflaei-Shahrbabak, M., & Soflaei-Shahrbabak, Y. (2011). Antifungal activity of (*Mentha spicata* L.) essential oil on *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-cucumerinum* the causal agent of stem and crown rot of greenhouse cucumber in Yazd. Iran. In *International Conference on Environmental and Agricultural Engineering, Chengdu, China held on*, 15, 52-56.
 46. Ogah, C. O., Coker, H. B., & Adepoju-Bello, A. A. (2016). Organophosphate and carbamate pesticide residues in beans from markets in Lagos State, Nigeria. *Journal of Innovative Research in Engineering and Sciences*, 2(1), 50-61.
 47. Palfi, M., Konjevoda, P., Vrandečić, K., & Ćosić, J. (2018). Antifungal activity of essential oils and their major components on mycelial growth of *Colletotrichum coccodes*. *Poljoprivreda*, 24(2), 20-26. <https://doi.org/10.18047/poljo.24.2.3>
 48. Park, J. Y., Kim, S. H., Kim, N. H., Lee, S. W., Jeun, S. C. & Hong, J. K. (2017). Differential Inhibitory Activities of Four Plant Essential Oils on *In Vitro* Growth of *Fusarium oxysporum* f. sp. *fragariae* Causing *Fusarium* Wilt in Strawberry Plants. *The Plant Pathology Journal*, 33(6), 582-588. <https://doi.org/10.5423/PPJ.OA.06.2017.0133>
 49. Pedrotti, C., Ribeiro, R. T. S., & Schwambach, J. (2017). Control of Postharvest Fungal Rots on Grapes Using Essential Oil of *Foeniculum vulgare* Mill. *Journal of Agricultural Science*, 9(4), 205-216. <https://doi.org/10.5539/jas.v9n4p205>
 50. Perez-Sanchez, R., Inflante, F., Galvez, C., & Uberta, J. L. (2007). Fungitoxic Activity Against Phytopathogenic Fungi and the Chemical Composition of *Thymus zygis* Essential Oils. *Food Science and Technology International*, 13(5), 341-347. <https://doi.org/10.1177/1082013207085687>
 51. Pereira, T. S., de Sant'Anna, J. R., Silva, E. L., Pinheiro, A. L., & de Castro-Prado, M. A. A. (2014). *In vitro* genotoxicity of *Melaleuca alternifolia* essential oil in human lymphocytes. *Journal of Ethnopharmacology*, 151, 852-857. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2013.11.045>
 52. Perina, F. J., Amaral, D. C., Fernandes, R. S., Labory, C. R. G., Teixeira, G. A., & Alves, E. (2015). *Thymus vulgaris* essential oil and thymol against *Alternaria alternata* (Fr.) Keissler: effects on growth, viability, early infection and cellular mode of action. *Pest Management Science*, 71(10), 1371-1378. <https://doi.org/10.1002/ps.3933>
 53. Roselló, J., Sempere, F., Sanz-Berzosa, I., Chiralt, A., & Santamarina, M. P. (2015). Antifungal activity and potential use of essential oils against *Fusarium culmorum* and *Fusarium verticillioides*. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 18(2), 359-367. <https://doi.org/10.1080/0972060X.2015.1010601>
 54. Russo, A., Formisano, C., Rigano, D., Senatore, F., Delfino, S., Cardile, V., Rosselli, S., & Bruno, M. (2013). Chemical composition and anticancer activity of essential oils of Mediterranean sage (*Salvia officinalis* L.) grown in different environmental conditions. *Food and Chemical Toxicology*, 55, 42-47. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2012.12.036>
 55. Sartoratto, A., Machado, A. L. M., Delarmelina, C., Figueira, G. M., Duarte, M. C. T., & Rehder, V. L. G. (2004). Composition and antimicrobial activity of essential oils from aromatic plants used in Brazil. *Brazilian Journal of Microbiology*, 35(4), 275-280. <http://doi.org/10.1590/S1517-83822004000300001>
 56. Shao, X., Wang, H., Xu, F., Cheng, S. (2013b). Effects and possible mechanisms of tea tree oil vapor treatment on the main disease in postharvest strawberry fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 77, 94-101. <http://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2012.11.010>
 57. Sharma, A., Rajendran, S., Srivastava, A., Sharma, S., & Kundu, B. (2017). Antifungal activities of selected essential oils against *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* 1322, with emphasis on *Syzygium aromaticum* essential oil. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 123(3), 308-313. <https://doi.org/10.1016/j.jbiosc.2016.09.011>
 58. Sitara, U., Niaz, I., Naseem, J., & Sultana, N. (2008). Antifungal effect of Essential oils on *in vitro* growth of pathogenic fungi. *Pakistan Journal of Botany*, 40(1), 409-414.
 59. Soyulu, S., Yigitbas, H., Soyulu, E. M., & Kurt, S. (2007). Antifungal effects of essential oils from oregano and fennel on *Sclerotinia Sclerotiorum*. *Journal of Applied Microbiology*, 103, 1021-1030. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2007.03310.x>
 60. Stefan, M., Zamfirache, M., Padurariu, C., Truta, E., & Gostin, I. (2013). The composition and antibacterial acti-

- vity of essential oils in three *Ocimum* species growing in Romania. *Central European Journal of Biology*, 8(6), 600-608. <https://doi.org/10.2478/s11535-013-0171-8>
61. Suhr, K. I., & Nielsen, P. V. (2003). Antifungal activity of essential oils evaluated by two different application techniques against rye bread spoilage fungi. *Journal of Applied Microbiology*, 94(4), 665-674. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2672.2003.01896.x>
 62. Sumalan, R. M., Alexa, E., & Poiana, M. A. (2013). Assessment of inhibitory potential of essential oils on natural mycoflora and *Fusarium* mycotoxins production in wheat. *Chemistry Central Journal*, 7(1), 32. <https://doi.org/10.1186/1752-153X-7-32>
 63. Nuzhat, T. & Vidyasagar, G. M. (2013). Antifungal investigations on plant essential oils. A review. *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 5, 19-28.
 64. Tanović, B., Potocnik, I., Delibasic, G., Ristić, M., Kostić, M., Marković, M. (2009). In vitro effect of essential oils from aromatic and medicinal plants on mushroom pathogens: *Verticillium fungicola* var. *fungicola*, *Mycogone perniciosa*, and *Cladobotryum* sp. *Archives of Biological Sciences*, 61(2), 231-237. <https://doi.org/10.2298/ABS0902231T>
 65. Tanović, B., Gašić, S., Hrustić, J., Mihajlović, M., Grahovac, M., Delibašić, & Stevanović, M. (2013). Development of *Thyme* Essential Oil Formulation and Its Effect on *Monilinia fructigena*. *Pesticidi i fitomedicina*, 28(4): 273-280. <https://doi.org/10.2298/PIF1304273T>
 66. Tešević, V., Milosavljević, S., Vajs, V., Đorđević, I., Soković, M., Lavadinović, V., & Novaković, M. (2009). Chemical composition and antifungal activity of the essential oil of Douglas fir (*Pseudotsuga menziesii* Mirb. Franco) from Serbia. *Journal of the Serbian Chemical Society*, 74(10), 1035-1040. <https://doi.org/10.2298/JSC0910035T>
 67. Vitoratos, A., Bilalis, D., Karkanis, A., & Efthimiadou, A. (2013). Antifungal Activity of Plant Essential Oils Against *Botrytis cinerea*, *Penicillium italicum* and *Penicillium digitatum*. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 41(1), 86-92.
 68. Yang, V. W., & Clausen, C. A. (2007.). Antifungal effect of essential oils on southern yellow pine. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 59, 302-306. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2006.09.004>
 69. Yilmaz, A., Ermis, E., & Boyraz, N. (2016). Investigation of *in vitro* and *in vivo* anti-fungal activities of different plant essential oils against postharvest apple rot diseases *Colletotrichum gleosporioides*, *Botrytis cinerea* and *Penicillium expansum*. *Archiv Fur Lebensmittelhygiene*, 67(1), 122-131.
 70. Yu, D., Wang, J., Shao, X., Xu, F., & Wang, H. (2015). Antifungal modes of action of tea tree oil and its two characteristic components against *Botrytis cinerea*. *Journal of Applied Microbiology*, 119, 1253-1262. <https://doi.org/10.1111/jam.12939>

IMPACT OF ESSENTIAL OILS ON PHYTOPATHOGENIC FUNGI

SUMMARY

The use of synthetic fungicides is still the most effective protection against phytopathogenic fungi. However, the excessive and long-term use of fungicide can lead to many adverse side effects such as adverse effects on human health, environmental pollution and pathogen resistance. Biological compounds extracted from plants, such as essential oils, do not have any adverse effects on humans and the environment so they can be one of the most important alternatives to synthetic fungicides. Essential oils are secondary metabolites of plants that often possess antifungal, antibacterial, insecticidal, antiviral and nematocidal properties. The chemical composition and the biological effect of essential oils is complex and dependent on the type of a plant, the part of the plant it is taken from, its origin, pedoclimatic conditions, harvest time, harvesting season and processing conditions, storage conditions, type of pathogen, amount applied and application. Therefore, many *in vitro* and *in vivo* studies of antifungal activity of essential oils to various fungopathogenic fungi are carried out in order to find essential oils or combinations thereof whose inhibitory growth potential of phytopathogenic fungi is comparable to synthetic fungicides.

Key words: antifungal activity, essential oils, phytopathogenic fungi, chemical composition

(Primljeno 23. studenoga 2018.; prihvaćeno 28. ožujka 2019. - Received on November 23, 2018; accepted on March 28, 2019)